

ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ОСТАТОЧНЫЙ ФОТОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КРЕМНИИ

Г.Д. Чирадзе

Государственный университет им. Ак. Церетели, департамент физики,
ул. Царицы Тамар, 59, Кутаиси, 4600, Грузия, gogichiradze@yahoo.com

Приведены результаты сравнительных исследований остаточного фотомеханического эффекта (ФМЭ) на образцах n-кремния как на исходном, так и подвергнутом облучению быстрыми нейтронами флюенсом 10^{17} н/см². Показано, что возрастание величины остаточного ФМЭ и времени его существования в облученном образце определяется с ростом дефектности кристаллической структуры поверхности образца и тем самым более эффективным неравномерным изгибом энергетических зон в поверхностном слое.

Введение

Фотомеханический эффект (ФМЭ) - это изменение микротвердости (МТ) материала в процессе освещения его поверхности [1]. Если в процессе освещения возрастает концентрация фотовозбужденных неравновесных носителей заряда (в полупроводниках валентная зона состоит из связывающих орбиталей, а зона проводимости из антисвязывающих орбиталей, следовательно, электроны в антисвязывающей зоне и дырки - разорванные связи в связывающей зоне являются антисвязывающими квазичастицами - АКЧ [2]), то наблюдаемое размягчение поверхности материала не исчезает сразу с прекращением освещения поверхности исследуемого полупроводника, а сохраняется в течение определенного времени - остаточный ФМЭ [2]. Для объяснения этого эффекта был предложен механизм, суть которого следующая [2]. После прекращения освещения в объеме полупроводника происходит быстрая рекомбинация неравновесных носителей тока, но часть этих носителей в поверхностном слое остаётся в разделённых пространственно соответствующих минимумах, образованных из-за неоднородного искривления энергетических зон в этом слое полупроводника (рис. 1).

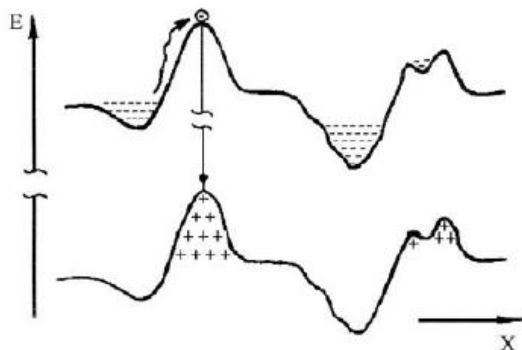


Рис. 1. Рекомбинационные переходы в приповерхностной области полупроводника между искривленными зонами: E - энергия, X - координата вдоль поверхности.

Рекомбинация этих носителей может произойти после преодоления соответствующего барьера, т.е. активационным путем. Именно поэтому после прекращения освещения поверхности поверхностный слой кристалла сохраняет размягчение в течение определенного времени.

Из приведенных выше соображений относительно физической природы остаточного ФМЭ

следует, что с повышением температуры образца экспоненциально должна уменьшаться как величина остаточного ФМЭ, так и время его существования, из-за увеличения скорости выброса электронов и дырок из соответствующих минимумов, и тем самым увеличения темпа их рекомбинации, что подтверждается результатами работы [3]. Оказалось, что как существование этого эффекта, так и его величина, а также многие параметры, характеризующие этот эффект, во многом зависят от способа приготовления исследуемой поверхности [4].

В настоящей работе приводятся результаты исследований остаточного ФМЭ на образцах кремния, исходных и подвергнутых облучению быстрыми нейтронами.

Методика эксперимента

Эксперименты проводились на (100) грани бездислокационного монокристаллического кремния n - типа проводимости с удельным сопротивлением 100 Ом·см. Поверхности исследуемых образцов шлифовались и полировались механически, затем проходили химическую очистку и после этого травились при температуре 40°C в течение 30 с. Методика измерения МТ в темноте и при освещении описана в работе [2].

Нагрузка на индентор выбиралась равной 25 г, во всех измерениях большая диагональ используемой пирамиды Кнупа всегда совпадала с направлением <100> в исследуемой (100) плоскости с целью учета анизотропии [5].

Эксперименты проводились следующим образом. Вначале производилось освещение поверхности исследуемого образца в течение 10 с. (которое полностью обеспечивало выход на насыщение значения остаточного светового МТ), затем после выключения освещения через определенные промежутки времени производилось нанесение отпечатков.

Основная часть

На рис. 2 приведены зависимости величин остаточного ФМЭ от времени, отсчитанного с момента прекращения освещения. Видно, что уменьшение величины остаточного ФМЭ во времени для исходного и облученного образца имеет экспоненциальный характер. Для удобства графического представления изменение остаточного ФМЭ приведено в относительных единицах $\Delta H/H$, где: $\Delta H = H - H_i$, H - значение темновой микротвер-

дости, а H_i - значение остаточной световой микротвердости, соответствующее определенному i -му моменту времени после прекращения освещения.

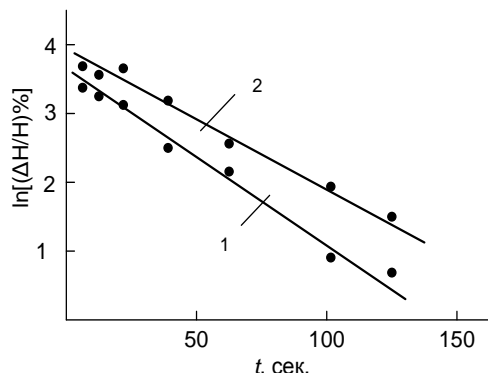


Рис. 2. Временные зависимости остаточного ФМЭ. 1- исходный, необлученный образец, 2- облученный образец.

Как известно, обрыв кристаллической решетки на поверхности полупроводника, а также наличие разного рода дефектов и множества неоднородностей по сравнению с объемом приводит к неравномерному искривлению (вдоль поверхности) энергетических зон в приповерхностной области кристалла (рис. 1) [6]. При освещении его светом $h\nu > \Delta E_g$ (где: $h\nu$ - энергия квантов света, а ΔE_g - ширина запрещенной зоны) электроны перебрасываются из валентной зоны в зону проводимости, и они скапливаются в ямах гофрированного дна зоны проводимости. Аналогично дырки заполняют горбы валентной зоны, т.е. в энергетических минимумах неоднородно искривленных энергетических зон скапливаются неравновесные фотовозбужденные АКЧ (рис. 1).

С момента прекращения освещения в однородных областях кристалла происходит быстрая рекомбинация носителей, а в энергетических минимумах неравномерно искривленных энергетических зон разделенных энергетически и пространственно, остаются свободные электроны и дырки, после того, как фотопроводимость на постоянном токе спадает до нуля. Для рекомбинации электрону и дырке необходимо преодолеть некий потенциальный барьер, т.е. они могут рекомбинировать активационным путем. Из-за необходимости преодоления этого барьера время жизни носителей в минимумах увеличивается.

Что касается возрастания величины остаточ-

ного ФМЭ в облученных образцах, то оно связано с возрастанием дефектности кристаллической структуры в результате образования разупорядоченных областей, и тем самым более эффективным изгибом энергетических зон в поверхностной области. В последнем случае в неравномерно искривленных энергетических зонах скапливается сравнительно большая концентрация фотовозбужденных АКЧ, что и увеличивает величину остаточного ФМЭ.

Следует отметить, что в облученных быстрыми нейтронами полупроводниках наблюдается уменьшение величины остаточного ФМЭ [7], а увеличение величины остаточного ФМЭ в облученных образцах указывает на поверхностную природу остаточного ФМЭ, т. к. с возрастанием нагрузки, т.е. с ростом глубины вдавливания индентора, величина остаточного ФМЭ уменьшается до неизмеримого сильнее, чем в необлученных исходных образцах.

Закключение

Возрастание величины остаточного ФМЭ и времени его существования в облученном быстрыми нейтронами образце кремния определяется ростом дефектности кристаллической структуры поверхности образца и тем самым более эффективным неравномерным изгибом энергетических зон в поверхностном слое. Последнее обуславливает возрастание концентрации возбужденных светом АКЧ и, как следствие, величины остаточного ФМЭ.

Список литературы

1. Kuczyński G.K., Hochman R.H. // Phys. Rev. 1957. V. 108. P.946-948.
2. Герасимов А.Б., Чирадзе Г.Д., Кутивадзе Н.Г. // ФТП. 2001. Т. 35. В.1. С. 70-76.
3. Герасимов А.Б., Чирадзе Г.Д., Кутивадзе Н.Г. // ФТТ. 2000. Т. 42. В. 4. С. 683-684.
4. Чирадзе Г.Д., // Физика и химия обработки поверхности. 2005. № 5. С.91-92.
5. Уорен П.Д., Хирш // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1987. V.51. №4 . P.812-815.
6. Вопросы радиационной технологии полупроводников. Под ред. Л.С. Смирнова. Новосибирск. Наука.1980. 189 с.
7. Чирадзе Г.Д., Герасимов А.Б., Буачидзе Д.Г. // Взаимод. излучений с твердым телом. Материалы XI международной конференции. Мн. 2011. С.38.

INFLUENCE OF NEUTRON IRRADIATION ON THE RESIDUAL PHOTOMECHANICAL EFFECT IN SILICON

Giorgi Chiradze

Akaki Tsereteli State University, Tamar Mepe Str. 59, Kutaisi, 4600, Georgia, gogichiradze@yahoo.com

A softening of the surface layer of material does not disappear soon after cessation of lighting of surface, and for a specified time there is preserved – the residual photomechanical effect. It follows from the mechanism of this effect that its value should depend on structural perfection of the viewed surface. The present paper dwells on a comparative study of the residual photomechanical effect carried both by using the specimens of n-silicon of both initial and exposed to irradiation with fast neutrons with fluence of 10^{17} n/cm². There is shown that growth of the value of the residual photomechanical effect and the time period of its existence in an irradiated specimens are determined by an increase in defectiveness of the crystalline structure of the specimen surface, and thereby by more effective non-uniform bend of the energy bands in the surface layer.